



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
 21.01.1998 Bulletin 1998/04

(51) Int Cl.⁶: **E21B 43/28**

(21) Numéro de dépôt: **97401582.8**

(22) Date de dépôt: **03.07.1997**

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC
 NL PT SE**

(30) Priorité: **19.07.1996 FR 9609104**

(71) Demandeur: **GAZ DE FRANCE (SERVICE
 NATIONAL)
 F-75017 Paris (FR)**

(72) Inventeurs:
 • **Durup, Jean-Gérard**
 93340 Le Raincy (FR)
 • **Boris, Guy**
 94270 Le Kremlin-Bicêtre (FR)
 • **Charnavel, Yvon**
 93110 Rosny-Sous-Bois (FR)

(74) Mandataire: **Lerner, François et al**
 5, rue Jules Lefebvre
 75009 Paris (FR)

(54) **Procédé pour creuser une cavité dans une mine de sel de faible épaisseur**

(57) L'invention a pour objet un procédé pour creuser, par dissolution, une cavité dans une mine de sel de faible hauteur afin d'y stocker un fluide.

Selon l'invention le procédé comprend les étapes suivantes :

- réaliser un conduit d'injection (16), un conduit d'extraction (18) et une ébauche (4) d'espace de communication mettant en liaison les conduits d'injection et d'extraction,
- réaliser au moins une ébauche (2) de tunnel borgne

en liaison avec l'espace de communication afin de permettre la circulation du solvant et la dissolution du sel dans le tunnel borgne,

- injecter, par le conduit d'injection, un solvant dans l'espace de communication,
- extraire, par le conduit d'extraction, la saumure formée par dissolution du sel au contact du solvant.

Cette solution a pour avantage de permettre creuser une mine de forme mécaniquement stable, de plus grand volume et pour moins cher que dans l'art antérieur.

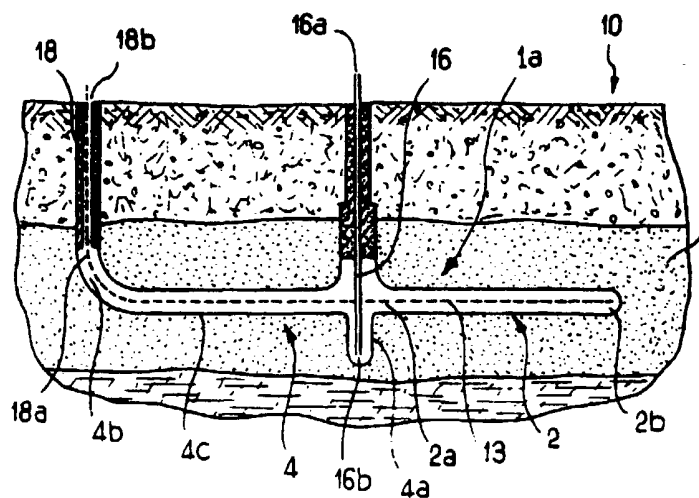


FIG. 1

Description

L'invention a pour objet un procédé pour creuser, par dissolution, une cavité dans un terrain contenant en majorité du sel.

L'invention vise plus particulièrement à obtenir, après creusement, une cavité permettant le stockage d'un fluide et notamment de gaz naturel dans une mine de sel comprenant une fine couche de sel dont la hauteur est d'environ une centaine de mètres.

Le terme hauteur devra être compris dans la suite de la description au sens de l'élévation.

Compte-tenu des sollicitations auxquelles la cavité doit être soumise pendant son exploitation en tant que stockage du gaz, il est nécessaire de maîtriser la propagation de la dissolution afin d'obtenir une cavité finale présentant une forme mécaniquement stable.

Or, s'il est relativement aisé de contrôler la dissolution lorsque la mine atteint ou même dépasse un millier de mètres, cette opération est plus délicate lorsque le sel est stratifié. En effet, l'épaisseur de sel disponible ne dépassant alors que rarement quelques centaines de mètres, on est amené à réaliser des cavités dont la largeur est au moins égale à la hauteur.

Certes, il est décrit dans US-A-5 246 273, pour creuser une mine de sel par dissolution de :

- réaliser un conduit d'injection, un conduit d'extraction, une ébauche d'espace de communication mettant en liaison les conduits d'injection et d'extraction, et au moins une ébauche de tunnel borgne tel que :
 - le tunnel borgne s'étende entre une extrémité ouverte et une extrémité close, et
 - le tunnel borgne soit en liaison par son extrémité ouverte avec l'espace de communication,
- puis injecter, par le conduit d'injection, un solvant du sel dans l'espace de communication, afin de creuser la cavité par dissolution du sel au contact du solvant,
- extraire ensuite, par le conduit d'extraction, la saumure formée par la dissolution du sel.

Dans ce document US-A-5 246 273, l'espace de communication et le tunnel borgne sont creusés dans le prolongement l'un de l'autre en pente descendante à partir du puits d'injection de sorte que l'extrémité close du puits d'injection est plus basse que son extrémité ouverte. Le tunnel borgne est un puits optionnel destiné à récupérer les éléments insolubles qui viennent s'y déposer.

Par conséquent, la technique mise en oeuvre dans US-A-5 246 273 est coûteuse, car rapporté au volume de la cavité finale de forme mécaniquement stable, le nombre d'opérations de mise en oeuvre est relativement important (en particulier la réalisation des conduits et de

l'ébauche de l'espace de communication).

Pour résoudre ces problèmes, l'invention propose que, pour creuser la cavité on creuse également le tunnel borgne par circulation du solvant dans ce tunnel en faisant passer par son extrémité ouverte le solvant depuis l'espace de communication dans ledit tunnel et en récupérant la saumure ainsi formée pour l'en extraire.

Comme on l'aura compris un tunnel borgne est un tunnel distinct de l'espace de communication, qui possède une unique extrémité communiquant avec l'espace de communication.

Cette solution possède notamment comme avantage, de permettre un éventail varié de formes de cavité et une exploitation de la mine dans de nombreuses directions.

Elle permet par conséquent d'augmenter sensiblement le volume de la cavité finale que l'on peut creuser sans avoir à déplacer le conduit d'injection ou le conduit d'extraction et en conservant une stabilité mécanique donnée. Le coût de l'opération de creusement rapportée au volume de la cavité est donc réduit.

Il sera alors très avantageux de multiplier le nombre d'ébauches de tunnels borgnes en liaison avec l'espace de communication.

Cette solution est d'autant plus remarquable, qu'elle présente un effet surprenant. En effet, un tunnel borgne ne favorise a priori pas l'entrée et la circulation du solvant, encore moins le brassage du solvant et la dissolution du sel. Telle est pourtant la réalité.

Dans toute la description, le terme "ébauche" désigne l'état initial d'un espace ou d'un tunnel (avant dissolution du sel par le solvant).

Afin d'améliorer la dissolution dans le tunnel borgne, l'invention propose que l'on dispose l'extrémité close du tunnel borgne à une hauteur supérieure ou sensiblement égale à celle de l'extrémité ouverte.

En effet, la saumure possédant une densité supérieure à celle du solvant, lorsque l'extrémité close du tunnel borgne est disposée à une hauteur inférieure à celle de l'extrémité ouverte la saumure a tendance à stagner du côté de l'extrémité close du tunnel borgne. Ainsi, il n'y a plus de circulation du solvant dans le tunnel borgne et le creusement par dissolution du tunnel borgne tend à disparaître. Ce phénomène est d'autant plus marqué que la pente est prononcée et que le tunnel borgne est long.

Afin d'améliorer encore la dissolution dans le tunnel borgne, l'invention propose qu'à l'endroit de la liaison entre l'ébauche de l'espace de communication et l'ébauche du tunnel borgne (lequel endroit pourrait être disposé a priori n'importe où le long de l'ébauche d'espace de communication entre les deux conduits), on puisse réaliser l'extrémité ouverte de l'ébauche du tunnel borgne en surplomb de l'espace de communication.

Une variante permettant également d'améliorer la dissolution dans le tunnel borgne consiste à :

- réaliser l'extrémité ouverte de l'ébauche du tunnel

- borge à proximité du conduit d'injection, faire circuler le solvant dans le conduit d'injection et le faire ressortir de ce conduit par une extrémité formant point d'injection dans la cavité,
- réaliser l'ébauche du tunnel borgne avec la partie de son extrémité ouverte en surplomb du point d'injection.

Afin d'améliorer encore la dissolution dans le tunnel borgne, l'invention propose que :

- on réalise les conduits d'injection et d'extraction distants l'un de l'autre,
- on ménage une partie allongée dans l'ébauche de l'espace de communication,
- on réalise l'ébauche du tunnel borgne et la partie allongée de l'ébauche de l'espace de communication sensiblement dans le prolongement l'un de l'autre, et le conduit d'injection entre l'ébauche du tunnel borgne et la partie allongée de l'espace de communication.

Par contre, si l'on souhaite réduire les coûts de réalisation d'une cavité ou augmenter l'éventail des formes réalisées, l'invention propose de disposer sensiblement coaxialement les conduits d'injection et d'extraction de sorte que l'un de ces conduits est situé au centre et est entouré par l'autre, au moins sur une partie de sa longueur axiale. Il n'y a alors plus qu'un trou à creuser pour réaliser les deux conduits.

L'invention va apparaître encore plus clairement dans la description qui va suivre, faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 montre en coupe une première forme d'ébauche de cavité réalisée dans une mine de sel,
- la figure 2 montre en coupe une première forme de cavité obtenue à partir de l'ébauche de la figure 1 après creusement par dissolution d'une partie du sel contenu dans la mine,
- la figure 3 montre en coupe une deuxième forme de cavité obtenue après creusement par dissolution d'une partie du sel contenu dans la mine,
- la figure 4 montre en coupe une troisième forme de cavité obtenue après creusement par dissolution d'une partie du sel contenu dans la mine.

A la figure 1, est illustrée une mine de sel 1 se présentant sous forme stratifiée et comprise entre deux couches minérales contenues dans le sol 10. Un conduit d'injection 16 et un conduit d'extraction 18 ont été disposés dans deux puits, après creusement de ceux-ci, sensiblement verticalement entre le niveau du sol et une ébauche 1a de cavité creusée dans la mine de sel 1.

Ces conduits comprennent une extrémité située au niveau du sol 16a, 18b et une extrémité 16b, 18a située dans l'ébauche 1a de cavité. Les extrémités 16b, 18a situées dans l'ébauche de cavité 1a sont reliées par une

ébauche 4 d'espace de communication. Ici, l'ébauche 4 de l'espace de communication a été forée à partir du conduit 18. L'axe de forage 13 a été représenté en trait interrompu. Le diamètre de l'ébauche est d'environ 6 cm et de préférence inférieure à 10 cm.

L'ébauche 4 de l'espace de communication comporte une partie allongée et sensiblement rectiligne et horizontale 4c comprise entre une partie extrême 4b en liaison avec le conduit d'extraction 18, et une autre partie extrême 4a entourant le conduit d'injection 16 sur une partie de sa longueur, à proximité de son extrémité 16b formant point d'injection dans la cavité.

Une ébauche 2 de tunnel borgne a été réalisée par prolongement de la partie allongée 4c de l'ébauche 4 de l'espace de communication au-delà du conduit d'injection 16. Cette ébauche 2 de tunnel borgne comprend ainsi une extrémité close 2b et une extrémité ouverte 2a communicant avec l'ébauche 4 de l'espace de communication. L'extrémité ouverte 2a surplombe le point d'injection 16a, de sorte que l'extrémité ouverte 2a est disposée à proximité du point d'injection 16b et que la partie basse de l'extrémité ouverte 2a est plus haute que le point d'injection 16b.

Ici, l'ébauche 4c de la partie allongée de l'espace de communication et l'ébauche 2 de tunnel borgne sont sensiblement horizontales. On pourrait également prévoir de les réaliser légèrement inclinées. Dans ce cas, en raison de la plus forte densité de la saumure par rapport à l'eau injectée, l'extrémité ouverte des trous borgnes devra nécessairement être plus basse que l'extrémité close et de même la partie allongée de l'espace de communication devra être plus basse du côté du conduit d'extraction que du côté du conduit d'injection.

A la figure 2, on injecte un solvant (ici de l'eau) tel qu'illustré par la flèche 17 par l'extrémité 16a du conduit d'injection 16. L'eau ressort du conduit 16 par le point d'injection 16b où elle est injectée dans l'extrémité 14a de l'espace de communication tel qu'illustré par les flèches 15a. Cet espace de communication, tout comme l'ensemble de la cavité est entièrement ou du moins presque entièrement rempli de d'eau et de saumure. L'eau injectée étant moins dense que la saumure, celle-ci monte en partie supérieure de la cavité 11a. L'eau est injectée à une pression légèrement supérieure à la pression régnant dans la cavité.

L'eau injectée circule de l'extrémité 14a de l'espace de communication vers la partie allongée 14c de l'espace de communication 14 et le tunnel borgne 12. L'eau n'est pas introduite du fait de la pression d'injection dans le tunnel borgne, mais sous l'action d'un flux créé par la dissolution du sel.

Tel qu'illustré par les flèches 15c, 15e, l'eau remplissant cette cavité creuse la mine de sel en dissolvant le sel, de sorte qu'après creusement, les ébauches 4; 2 de l'espace de communication et du tunnel borgne forment l'espace de communication 14 et le tunnel borgne 12 de largeur, de longueur et de hauteur supérieures à leur ébauche respective. L'eau chargée en sel formant

saumure circule alors en partie inférieure de l'espace de communication 14 et du tunnel borgne 12 tel qu'illustré par les flèches 15d, 15f.

La saumure passe du tunnel borgne 12 vers la partie allongée et horizontale 14c de l'espace de communication 14, de sorte que la saumure formée dans le tunnel borgne est récupérée dans l'espace de communication pour y être extraite.

En appliquant une pression d'injection supérieure à la pression d'extraction, la saumure circule de la partie allongée 14c de l'espace de communication 14 vers le conduit 18 via l'extrémité 14b de l'espace de communication 14, tel qu'illustré par la flèche 15b.

Le tunnel borgne 12 communique avec l'espace de communication 14 uniquement par l'extrémité ouverte, qui permet de noyer le tunnel borgne d'eau en y introduisant l'eau dans le tunnel et de récupérer la saumure formée par dissolution du sel du tunnel borgne.

A la figure 3, les éléments correspondant à ceux de la figure 2 ont été repérés par un numéro augmenté de 10. Cette figure se différencie essentiellement de la figure 2 en ce que les circuits d'injection 26 et d'extraction 28 sont disposés coaxialement. Le circuit d'injection 26 descendant le plus bas dans la cavité 21a, il est situé à l'intérieur et le circuit d'extraction 28 à l'extérieur. Le circuit d'extraction 28 entoure le circuit d'injection sur la majeure partie de sa longueur.

Du fait de cette conformation particulière, l'espace de communication ne comprend plus ici de partie allongée horizontale et est réalisé entièrement autour du circuit d'injection 26, entre les extrémités 26b, 28a des conduits d'injection et d'extraction. Le forage de l'ébauche d'espace de communication pourra être obtenu aisément en même temps que celui destiné au conduit d'extraction. L'axe 23 de l'ébauche de tunnel borgne a été représenté en trait interrompu.

La circulation d'eau, et donc de saumure, est réalisée à l'aide d'une pompe de compression 30 injectant l'eau sous pression dans le conduit d'injection 26 tel qu'indiqué par la flèche 27.

A la figure 4, les éléments correspondant à ceux de la figure 3 ont été repérés par un numéro augmenté de 10. Cette figure se différencie essentiellement de la précédente en ce qu'une deuxième ébauche 43 de tunnel borgne a été réalisée. Cette figure illustre la réalisation de multiples tunnels borgnes 32, 42 en liaison fluide par leur extrémité ouverte 32a, 42a avec l'espace de communication 34.

L'eau injectée par le point d'injection 36b monte puisqu'elle est moins dense que la saumure contenue dans la cavité et que le point d'injection est situé sous les extrémités ouvertes 32a, 42a des trous borgnes. L'eau se répartit ensuite entre les différents tunnels borgnes et les creuse en se chargeant en sel. La saumure ainsi formée a ensuite tendance à descendre dans l'extrémité 34a de l'espace de communication, tel qu'illustré par les flèches 35c. En pratique, le flux 35a d'eau injectée dirige la saumure vers l'extrémité 38a du tube d'ex-

traction 38, tel qu'illustré par les flèches 35b. La saumure est alors extraite par le tube d'extraction 38.

Sur cette figure 4, la circulation d'eau, et donc de saumure, est réalisée à l'aide d'une pompe d'aspiration 40 aspirant la saumure par l'intermédiaire du tube d'extraction 38, tel qu'indiqué par la flèche 39.

Bien entendu l'invention n'est nullement limitée aux modes de réalisation décrits ci-dessus. Ainsi, on pourrait prévoir d'inverser les conduits d'injection et d'extraction, sans que cela modifie l'invention.

Revendications

1. Procédé pour creuser, par dissolution, une cavité (1a) dans un terrain (1) contenant en majorité du sel, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

- réaliser un conduit d'injection (16, 26, 36), un conduit d'extraction (18, 28, 38), une ébauche (4) d'espace de communication (14, 24, 34) mettant en liaison les conduits d'injection et d'extraction, et au moins une ébauche (2) de tunnel borgne (12, 22, 32, 42) tel que :

- le tunnel borgne s'étende entre une extrémité ouverte (2a) et une extrémité close (2b), et
- le tunnel borgne soit en liaison par son extrémité ouverte avec l'espace de communication,

- puis injecter, par le conduit d'injection, un solvant du sel dans l'espace de communication (4, 14, 24, 34), afin de creuser la cavité par dissolution du sel au contact du solvant,
- extraire ensuite, par le conduit d'extraction, la saumure formée par la dissolution du sel,

caractérisé en ce que pour creuser la cavité on creuse également le tunnel borgne par circulation du solvant dans ce tunnel en faisant passer par son extrémité ouverte le solvant depuis l'espace de communication dans ledit tunnel et en récupérant la saumure ainsi formée pour l'en extraire.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on dispose l'extrémité close du tunnel borgne à une hauteur supérieure ou sensiblement égale à celle de l'extrémité ouverte.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que l'on réalise l'extrémité ouverte (2a) de l'ébauche (2) du tunnel borgne (12, 22, 32, 42) en surplomb de l'ébauche (4) de l'espace de communication (14, 24, 34), à l'endroit de leur liaison.

4. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que :
- on réalise l'extrémité ouverte (2a) de l'ébauche (2) du tunnel borgne (12, 22, 32, 42) à proximité du conduit d'injection (16, 26, 36), et
 - on fait circuler le solvant dans le conduit d'injection et ressortir de ce conduit par une extrémité (16b, 26b, 36b) formant point d'injection dans la cavité,
 - on réalise l'ébauche du tunnel borgne avec son extrémité ouverte en surplomb du point d'injection.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'on dispose sensiblement coaxialement les conduits d'injection (16, 26, 36) et d'extraction (18, 28, 38) de sorte que l'un de ces conduits est situé au centre et est entouré par l'autre, au moins sur une partie de sa longueur axiale.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que :
- on réalise les conduits d'injection (16) et d'extraction (18) distants l'un de l'autre,
 - on ménage une partie allongée (4c) dans l'ébauche de l'espace de communication,
 - on réalise l'ébauche (2) du tunnel borgne et la partie allongée (4c) de l'ébauche (4) de l'espace de communication sensiblement dans le prolongement l'un de l'autre, et le conduit d'injection (16) entre l'ébauche (2) du tunnel borgne et la partie allongée (4c) de l'ébauche (4) de l'espace de communication.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'on réalise plusieurs ébauches de tunnels borgnes (33, 43) en liaison avec l'espace de communication (34).
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'on réalise l'ébauche (2) du tunnel borgne avec un diamètre inférieur à 10 cm.
9. Cavité obtenue par la mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes.

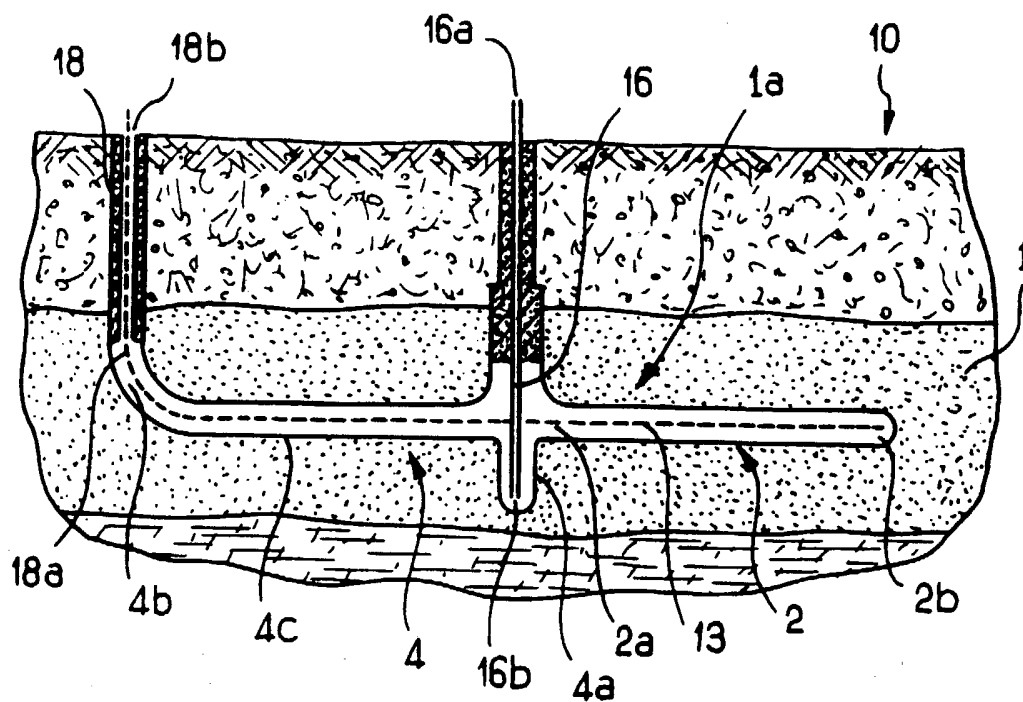


FIG. 1

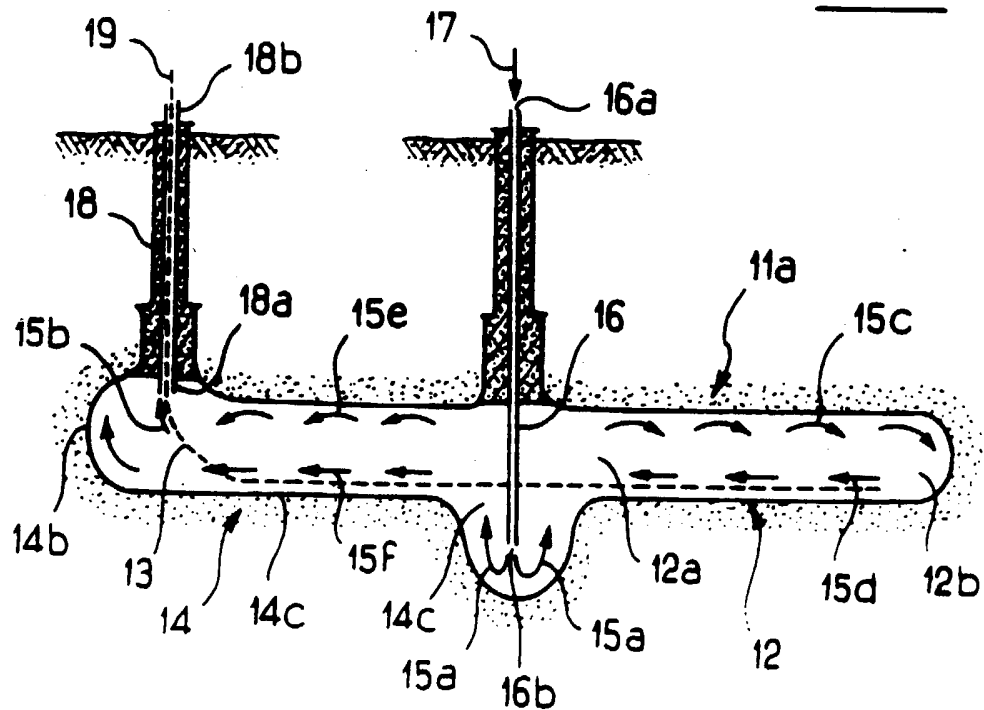


FIG. 2

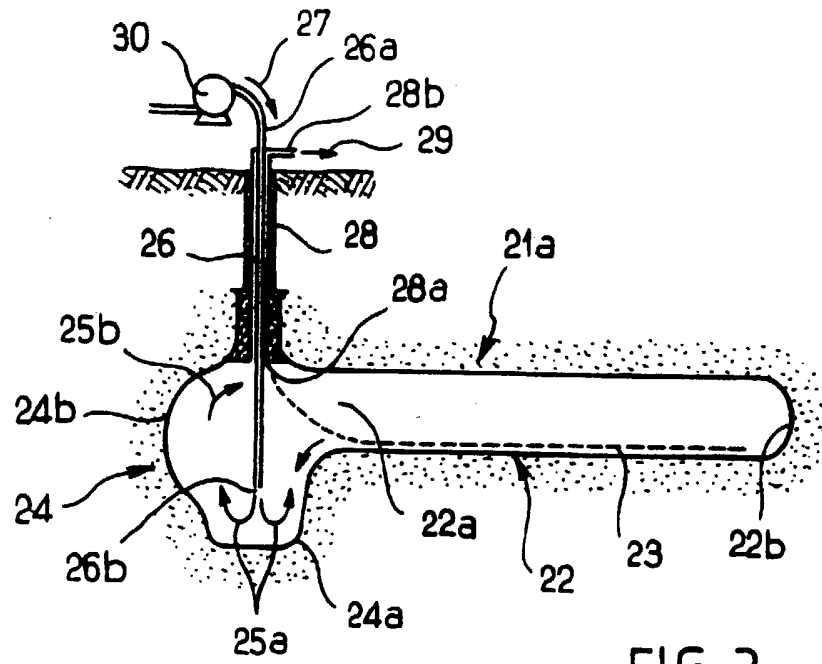


FIG. 3

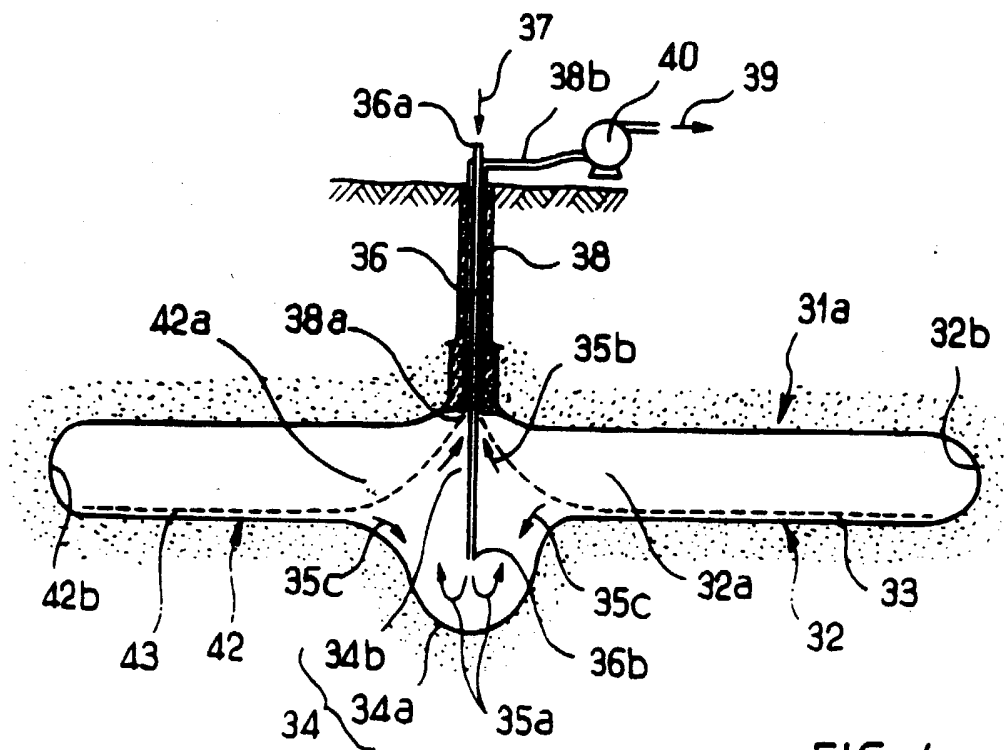


FIG. 4

Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande
EP 97 40 1582

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.6)
A	US 5 246 273 A (ROSAR EDWARD C) 21 septembre 1993 * le document en entier *	1-9	E21B43/28
A	EP 0 066 972 A (TEXAS GULF INC) 15 décembre 1982 * le document en entier *	1-9	
A	WO 95 10689 A (SANDIA NATIONAL LAB) 20 avril 1995 * le document en entier *	1,4,6,7	
A	US 3 510 167 A (CARMODY DONALD W) 5 mai 1970		
A	US 3 339 978 A (E.P.HELVESTON)		
A	US 3 873 156 A (JACOBY CHARLES H) 25 mars 1975		
A	US 3 347 595 A (J.B.DAHMS)		
A	US 2 822 158 A (W.C. BRINTON)		
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6)
			E21B E21F E21D
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 16 septembre 1997	Examineur Fonseca Fernandez, H
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique U : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande I : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EP 0 819 834 A1 (PCT/FR92/00121)